

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-292067

(P2005-292067A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO 1 J 9/02	GO 1 J 9/02	2 F 0 6 4
GO 1 B 9/02	GO 1 B 9/02	2 G 0 8 6
GO 1 M 11/02	GO 1 M 11/02	B

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2004-110707 (P2004-110707)	(71) 出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成16年4月5日(2004.4.5)	(74) 代理人	100090538 弁理士 西山 恵三
		(74) 代理人	100096965 弁理士 内尾 裕一
		(72) 発明者	杉田 充朗 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
		Fターム(参考)	2F064 AA15 CC04 EE08 FF06 GG49 HH08 JJ01 2G086 HH06 HH07

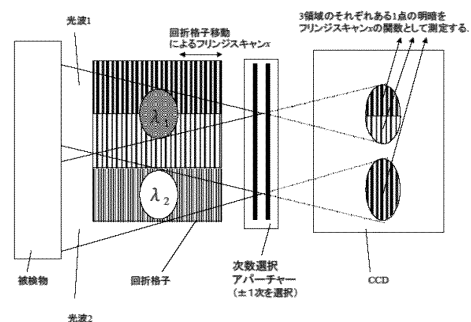
(54) 【発明の名称】 光学素子および光学系測定装置

(57) 【要約】

【課題】 シアリング干渉計を、その長所を活かしてEUV光学系の測定に用いる場合、EUV光学系の測定ニーズであるチルト波面が計れないことは大きな問題であった。

【解決手段】 回折格子を用いたシアリング干渉計測定装置において、使用波長が同じでピッチの異なる回折格子を二種類以上と、前記使用波長と異なる第二の使用波長の回折格子を少なくとも一種類を同一の基板、または、同一の支持体上に構成したことを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回折格子を用いたシアリング干渉計測装置において、使用波長が同じでピッチの異なる回折格子を二種類以上と、前記使用波長と異なる第二の使用波長用の回折格子を少なくとも一種類を同一の基板、または、同一の支持体上に構成したことを特徴とする測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学系の出力波面の特性解析に用いられる波面測定器、位相分布測定器に係わり、特に非可視光波長域での光学素子の性能評価に係わる。

10

【背景技術】

【0002】

従来、光学系や光学素子の性能を評価するために、入射光に対する反射波面や透過波面を測定する干渉計が様々な形で開発され、用いられてきた。そのうちシアリング干渉計は、その構成部品が比較的簡易であることから、高度な構成部品が得られ難い波長の光学系の評価において、可能性が大きいと期待されている。

【0003】

この一例は、近年開発が盛んになってきている、例えば特許文献 1 に開示があるような EUV（極端紫外線）と呼ばれる軟 X 線領域の 10 nm 程度の波長の投影光学装置であり、これを用いた 50 nm レベルの線幅の半導体露光装置の開発が計画され、進められている。十分な結像性能を確保するためには、少なくとも 1/4 波長以下の収差に光学系を管理する必要があり、EUV 波長では、これが 1 nm レベルの極めて高精度なものである必要がある。

20

【0004】

これに対して、従来の、例えば、フィゾー干渉計や、マッハツェンダー干渉計を用いようとすると、参照光と測定光を分岐するためのフィゾーレンズや、ビームスプリッターに高精度、高効率のものが必要であるが、実際に使用できるレベルのものは、現時点では未だ確立していない。

【0005】

そこで、参照光と測定光を分岐する素子として、単純な回折格子を用いたシアリング干渉計が注目されている。図 2 は、このシアリング干渉計の基本的な構成を示す一例である。単一の光源から出射した光は、ピンホールを通過させることによって、空間的にコヒーレントな点光源となる。この光を被光学系に入射する。被検光学系を通過した光は、分岐用の回折格子を通過して、回折光を生じる。回折光は、進行方向の変わらない 0 次と、回折格子のピッチと光波長によって決まる回折角度方向へ ± 1 次、 ± 2 次、というように、通常は、複数発生する。次の段の次数選択アパーチャーは、開口が、この例では、2 つ設けてあり、 ± 1 次の回折光のみを透過させる。この ± 1 次の回折光が、参照光と測定光に相当する光であり、CCD イメージセンサ上での強度検出によって、干渉によって位相情報が強度情報に変換され、すなわち干渉縞画像として、検出される。

30

【0006】

図 3 はこのようにして測定された干渉縞画像の一例である。この場合には球面波の横方向に回折した ± 1 次光を干渉させているため、基本成分として等間隔の縦縞が検出され、そして、例えば、図 1 (b) の場合には、球面収差の影響によって、縞が所謂、糸巻き型に歪んでいる。このような歪みを、よく知られた、干渉縞画像からの位相回復計算によって、参照光と測定光の位相差分布へ回復することで、被検光学系の波面情報、位相分布情報を検出することができる。

40

【0007】

また、図 4 は、シアリング干渉計の参照光と測定光の関係を通常の干渉計と比較した模式的な説明図である。図上段は測定光の波面（以下、測定波面） W と、参照光の波面（以下、参照波面） W_0 が位置 x の関数として示されている。上にあると波面、即ち位相が進

50

んでいることを示す。この例では、測定波面として、 x 方向にいくと波面が線形に進む、所謂チルト波面を表している。この場合、測定波面 W は x の一次関数である。この図に示されているように、通常干渉計では、参照波面は、測定波面とは独立な基準位相を持っているのに対し、シアリング干渉計では、参照波面と測定波面とは同じものを位置（この場合は x 方向）に横ずらし（シア）しているだけである。これは、測定光自身を回折格子で分岐してコピーを作ったもの同士を干渉させているからである。

【0008】

図の中段には、干渉計で測定される位相差を示した。通常干渉計では位相差 W は一次関数であるのに対して、シアリング干渉計では、定数関数になっている。これは、自分自身を横ずらして差を取ったものは、微小横ずらしに大しては、一次微分にずらし量を乗じたものに近似できることに対応している。即ち、測定波面 W が一次関数であるので、その微分は定数関数になっている。

10

【0009】

図の下段には、上記のような位相差がある場合の干渉縞画像を模式的に示してあり、通常干渉計の場合には、等間隔の三角関数の縞が現れ、シアリング干渉計の場合には縞は現れず、所謂ワンカラーと呼ばれる画面全体が単一の濃淡を表す画像となる。

【0010】

通常干渉計の場合には、三角関数の縞が現れるため、その周期を検出することが容易であり、この周期が測定波面の傾き（チルト量）、つまり、 x に対する一次関数の係数と結びついている。よって、通常干渉計においては、容易にチルト波面のチルト量を測定することが可能である。一方、シアリング干渉計では、上述のように、チルト波面を測定した場合、その干渉縞画像に縞が現れないため、周期からチルト量を検出することができない。

20

【0011】

この場合、チルト量は干渉縞のどこに現れているかということ、画像全体の明暗である。よって、画像全体の明暗を測定できれば、チルト量を測定できることになる。

【特許文献1】特開平11-243052号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

しかしながら、この画像全体の明暗を測定することは実際には非常に困難である。なぜなら、この明暗は、干渉計の参照光と測定光の全体的な位相差そのものであって、測定系のごく小さな波長オーダのゆらぎなどによって、敏感に変動するものだからである。シアリング干渉計では、このことは、図2に示した回折格子の位置の、振動などによる微小な変動などに相当する。また、回折格子の位置を波長以下のオーダで正確に把握しなければ、絶対量としての位相差を検出することはできず、結局、参照光と測定光の全体的な位相差を測定することは非常に困難である。

30

【0013】

なお、このような全体的な位相差のゆらぎについては、通常干渉計でも問題となる。これは、図4に示した三角関数状の干渉縞が、位置 x に対して、変動することに相当する。このような変動は画像取得して、画像を元に位相回復する測定において、画像エラーとなり、問題となる。この問題に対しては、所謂、フリンジスキャンという技術が用いられて無害化されている。フリンジスキャンでは、積極的に全体的な位相差を変調して、その変調に基づく干渉縞の位置 x に対する移動を測定することによって、高精度に干渉縞の形状、そして、そこから三角関数の周期などを検出することが可能となっている。

40

【0014】

シアリング干渉計に対しても、この技術は有効であるが、それは一次関数であるチルト波面よりも高次の波面情報に関してであって、チルト波面では、逆に、全体位相を振られると、余計に全体位相がどこにあるのかがわからなくなってしまうという問題が生じてしまう。

50

【0015】

以上述べたように、シアリング干渉計では、単純な回折格子によって、分岐が可能であり、EUV波長などに対して有効であるが、そのかわり、チルト波面のチルト量を高感度で検出することができないという問題点がある。

【0016】

このような問題点に対して、EUVでの計測ニーズの例を図5を用いて示す。EUV光学系では、一般的に、反射ミラー光学系が用いられている。そして、垂直に近い角度範囲で反射ミラーを用いるために、干渉を利用した多層膜コーティングが施されている。このようなミラーにおいては、多層膜の干渉効果のために、反射光の位相が入射角度依存性を持つ。図5はこの様子を、反射率とともに、示した一例である。反射位相の変化は、使用範囲である、高反射率領域で最も急峻であることが示されており、これは線形応答の理論から複素感受率一般にいえる性質である。

10

【0017】

従って、実際にEUV光学系で多層膜ミラーを用いる場合、このような急峻な反射位相変化を測定して、確認するというニーズがある。そして、この変化は入射角度に対する関数として見れば、一次成分が主成分であり、この一次成分を測定することが必要である。これは、前述のチルト波面と同じものを測定することに相当し、従って、シアリング干渉計では測定困難な成分に相当する。

【0018】

このように、シアリング干渉計を、その長所を活かしてEUV光学系の測定に用いる場合、EUV光学系の測定ニーズであるチルト波面が計れないことは大きな問題であった。

20

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明は以上述べてきた従来の技術の持つ問題点を解決するものであり、本発明のシアリング干渉計測装置は、使用波長が同じでピッチの異なる回折格子を二種類以上と、前記使用波長と異なる第二の使用波長用の回折格子を少なくとも一種類を同一の基板、または、同一の支持体上に構成し、光分岐素子としたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0020】

本発明により、簡易な構成でEUV波長などに使用できるシアリング干渉計においても、チルト波面のチルト量計測を行うことが可能となる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

先ず、本発明の第1の実施形態を説明する。本実施例は本発明の複数種類の回折格子を同一基板、支持体に構成したシアリング干渉計測装置を実施した一例である。

【0022】

まず、図1を用いて本実施例の測定装置の原理的構成について説明する。本実施例では、被検光学系に対して、2種類のEUV波長の光(1 = 13、4 nm、2 = 12 nm)を入射し、出射させる。この2つの光は被検光学系101をなるべく同様に通じ、従って、なるべく同じ被測定情報を持つように配置される。

40

【0023】

被検光学系から出射した2つの被検光波1、2(102、103)はそれぞれ、図2で示したようなシアリング干渉を生じるように、分岐用の回折格子104に入射され、回折、干渉効果によって、複数の次数の回折光に分割され、続いて次数選択アパーチャー108で±1次光の2つの光波のみが透過される構成によって、CCDイメージセンサ109上まで達する光が選択される。CCDイメージセンサでは、±1次光が合わさった干渉強度を検出し、明暗の画像情報が得られる。

【0024】

分岐用の回折格子104では、2つの波長の被検光波1、2(102、103)に対して、それぞれ異なる領域が用意されており、特に光波1に関しては、これが回折格子面と

50

交わる場所に2種類の異なるピッチ ($p_1 = 10 \mu\text{m}$ 、 $p_2 = 12 \mu\text{m}$) の回折格子が形成されている。

【0025】

また、光波2に関しては、これが回折格子面と交わる場所には $p_3 = 9 \mu\text{m}$ のピッチの回折格子が形成されている。

【0026】

図6に、このような本発明で使用する回折格子の代表的な例について、波長とピッチの関係をまとめて示した。図下部に条件A)として示したのは、 ± 1 次光の回折角度がほぼ同様になる条件であり、この条件は必須ではないが、図1に示す次数選択アパーチャーの2つのスリットの間隔が光波1と光波2でほぼ同等になる条件として、実用的に構成を簡易にするものとなっている。

10

【0027】

一方、条件B)は、同一波長様の回折格子ピッチについての条件であるが、これについては、以下の検出方法の説明で後述する。

【0028】

次に、図1で示した本発明の原理的な構成を実現する全体配置の例を図7を用いて説明する。

【0029】

図7(a)、(b)は、当該測定装置の構成を図中に示したxyzの直交座標系(zが光の全体的な進行方向)において、それぞれ、y方向から((a))、x方向から((b))、見た模式図である。

20

【0030】

図7中、異なる波長の光を発する光源1(701)、光源2(702)から出射した光は、ピンホール703を通過して空間的に略コヒーレントな2つの点光源となり、当該2つの点光源からの光が被検光学系704へ入射する。

【0031】

被検光学系704を通過して、光学系の位相情報を担った2波長の出射光は、次に、分岐用回折格子705へ入射され、複数の回折次数の回折光へ分割される。分岐用回折格子705は、前述した図6の構成となっている。

【0032】

それぞれ、次数選択アパーチャーを通過し、選択された ± 1 次光はCCDイメージセンサ707上で干渉し、強度検出される。

30

【0033】

本実施例の構成によれば、この干渉縞は光学系が無収差で点を点に理想結像する場合には、図1に示唆したように、x方向に周期的に変化する縦縞模様となる。これは、この構成では、無収差波面が球面波であって、球面波の波面の主成分が2次であるため、これを微分して、前述のシアリング干渉測定の出位相差とした場合、1次関数となるためである。

【0034】

本実施例では、以上説明をした構成によって、CCDイメージセンサ面上に2波長で3種類の干渉縞像が形成される(図1)。

40

【0035】

本発明では、この3つの干渉縞像の強度信号について、それぞれの像領域から1点ずつ、予め決められた位置での強度を検出する。この検出は、CCDのようなエリアセンサで像領域全体を計測して、そのうち所定の点を選び出してもよいし、最小限の構成としては、エリアセンサを用いる必要はなく、所定の点の光強度を測定するフォトダイオードを用いて行うこともできる。その際のフォトダイオードの受光面積は、本実施例のように無収差で縞が存在する場合には、縞の明暗周期に比して小さく、すなわち、明暗が平均化されてしまわない程度の面積にする必要がある。

【0036】

50

以上のような測定から、2波長で3種類の干渉縞像からの強度検出で、3点に関する強度が得られる。

【0037】

本実施例では、さらに回折格子をx方向、すなわち、格子縞に直交する方向に走査して、所謂フリンジスキャンを行う。従って、走査量をxとすると、xに依存した3点の強度変化が得られることになる。

【0038】

以下、この3点のx依存の強度変化から、いかにチルト波面のチルト量を検出するかについて、図8を用いて説明する。

【0039】

図8は前記3点の強度変化をチルト量が0の場合を上段に、チルト量が1.7の場合を下段に示した図である。

【0040】

まず、上段のチルト量が0の波面を測定した結果について説明する。この場合、3種類の領域の測定点での強度は、フリンジスキャンでの回折格子xに応じて、三角関数で変化する。横軸は μm 単位で表示されており、その原点は、3つの干渉強度が一致して最大値となる点を選び、プロットしてある。

【0041】

それぞれの変化の周期は、回折格子のピッチそのものであり、すなわち、 $p_1 = 10 \mu\text{m}$ 、 $p_2 = 12 \mu\text{m}$ 、 $p_3 = 12 \mu\text{m}$ である。本実施例では全てが異なる。このうち、波長が同一な p_1 と p_2 は、図6に示したように、そのピッチが比較的近く、かつ、単純な整数倍、即ち2倍、3倍でないように設計されており、従って、両者のピークが一致するのは数周期を隔ててとなる。

【0042】

次に、下段の、測定波面がチルト波面であり、チルト量が1.7である場合について以下、説明する。まず、この場合のチルト量の単位について説明する。チルト波面をxの関数として、 $W(x) = ax + b$ とする。この場合のaがチルト量である。Wの単位を波長で表し、回折格子位置xを単位で表すとすると、aは無次元量となる。

【0043】

次に、本実施例で計測対象とした、 $a = 1.7$ が、 ± 1 次回折光同志の位相差として、どのくらいの量に相当するかを以下、説明する。まず、チルト波面を横ずらし(シア)した場合の位相差は、前述したように、シア量が微小な場合、一回微分にシア量shを乗じたもの、すなわち、 $\Delta = axsh$ となる。

【0044】

本実施例では、シア量shを角度単位として、 $1/500 \text{ rad}$ (ラジアン)程度である。これは、回折角度 $sh = 2 \times \text{波長} / \text{回折格子ピッチ} = 2 \times 10 \text{ nm} / 10 \mu\text{m} = 1/500$ として求められた。よって、干渉縞強度より測定すべき位相差は $a \times sh = 4 \text{ mrad}$ (ミリラジアン) 0.3 m となる。これは通常の高感度干渉計での測定限界のオーダーであり、このオーダーでチルト波面計測ができれば、本発明の方法としては、その有用性が実証されるという量である。

【0045】

図8の下段の図は、このような非常に微小な位相差がチルト波面によって生じたときの、3点の強度変化を測定したものである。変化量が微小であるため、全体図ではその差が明確ではない。

【0046】

そこで、原点付近の拡大図を最下部に示した。この拡大図に示されるように、同じ波長で異なるピッチの干渉強度は、共通に、原点から外れた $0.0115 \mu\text{m}$ 付近に最大値を持ち、第二の波長はこれと異なる点 0.0105 付近に最大値を持つ。この最大値間の差を計測したところ、 $0.0012 \mu\text{m} = 1.2 \text{ nm}$ であった。

【0047】

10

20

30

40

50

以下、チルト波面の場合に、第一の波長の2つが同じ最大値へずれ、第二の波長がこれと異なる最大値へずれる理由を説明する。

【0048】

このずれ量を dx とすると、 $\theta < 1$ の領域で、 $dx = \lambda \times p / 2$ となる。これは位相差 $\Delta\phi$ をフリンジスキンの周期に引きなおしたという意味の数式である。次に、前述したように $\Delta\phi = a \times s \cdot h$ であることを用いると、 $dx = 1 / 2 \times a \times \lambda$ となる。この式から、最大値のずれ量は、チルト量と波長に比例し、回折格子のピッチ p には依存しないことが分かる。従って、波長の同じ2つは一致した最大値ずれ、波長の異なる1つは異なる最大値位置ずれを生じたことが説明できる。2つの波長の最大値位置の差 Δx は、図中に示したように、 $\Delta x = 1 / 2 \times \lambda \times (a_1 - a_2)$ である、ここで、 a と b はそれぞれ、波長1と波長2に対するチルト波面のチルト量であり、これは一般的に異なる。しかしながら、本実施例では、波長1、波長2は両者ともEUV波長であり、かつ、その差は1.2倍以下であるため、これを同一と近似しても、測定精度に与える影響は少ない。従って、 $a = b$ と近似した結果、計測した Δx 、波長差 $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ から逆算して、チルト量 a は、 $a = 2 \times \Delta x / \Delta\lambda = 1.7$ と求めることができた。

10

【0049】

以上より、本実施例の構成と計算方法によって、チルト量 $a = 1.7$ に対する、シアリング干渉計による高精度計測が可能であった。

【0050】

次に、実施例2について説明する。本実施例は本発明の複数種類の回折格子を同一基板、支持体に構成したシアリング干渉計測装置を実施した他の一例である。

20

【0051】

本実施例では、基本的な構成は全て実施例1と同じであるが、使用波長2つを、一つはEUV波長、他方はUV波長とした。具体的には、($\lambda_1 = 13.4 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 248 \text{ nm}$)、($p_1 = 10 \mu\text{m}$ 、 $p_2 = 12 \mu\text{m}$ 、 $p_3 = 180 \mu\text{m}$)を用いた。

【0052】

実施例1と同様に、2波長、3つの回折格子に関する、干渉縞像面上の3点での強度変化を測定した結果を図9に示した。本実施例では、UV波長に相当する強度変化が極端に周期が長いことが、観測される。これは、回折格子のピッチ p_3 を $180 \mu\text{m}$ と大きくとったためであり、その意図は、回折角度、そして次数選択スリットの幅を2波長でほぼ共通にするためである。

30

【0053】

上段がチルトのない波面、下段がEUV波長に対するチルト量 $a = 1.7$ のチルト波面を測定した結果である。本実施例の構成では、UV波長に対するチルト量はほぼ0である。これはすなわち、図5を用いて説明した、EUV反射用の多層膜の特性は、UV波長に対しては有効でなく、UV波長は、多層膜の表面のみで反射するため、この角度範囲で光学系の効率ピークがなく、位相変化も生じないということに対応している。

【0054】

従って、本実施例では、第二波長であるUV波長に対するチルト量 b は0であり、前述した最大値のシフト量の式は、 $dx = 1 / 2 \times b \times \lambda = 0$ となる。下段の図でもUV波長の最大値は原点から移動しておらず、本実施例では、従って、原点からEUV波長の強度変化2つの最大値が重なる点、 $x = 0.0115 \mu\text{m}$ までの距離、 $x = 0.0115 \mu\text{m}$ が測定値として得られる。前記実施例1と同様に、この測定値から、チルト量 a への逆算が行われ、 $a = 2 \times \Delta x / \Delta\lambda = 1.7$ が得られる。従って、本実施例のEUV波長とUV波長を用いた構成でも、シアリング干渉計を用いたチルト波面の高精度測定が可能であった。

40

【0055】

本発明は以上説明した実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲においてシーケンスの流れなどは種々に変更する事が可能である。

【0056】

50

特に、次数選択において、本説明書記載の実施例では±1次回折光を選択し、干渉させているが、これは干渉縞のビジビリティ向上を意図したものであり、他の目的のために、±1次以外の組み合わせ、例えば、+1次と0次などという選択を行ってもよく、前述の実施例の選択次数に、本発明自身が限定されないことは言うまでもない。

【0057】

また、光源から被検光学系への光の導入に関して、ピンホールの変わりに、単一モード光ファイバーの出射端を用いたり、照明光学系をカタディオプトリック光学系など、適宜選択することができるのはいうまでもない。

【0058】

さらに、フリンジスキャンを高速変調をかけて、振動の影響などがある低周波の周波数帯を回避して、ロックイン検出などを行ってもよい。

【0059】

以上説明したように、本発明の、本発明の、使用波長が同じでピッチの異なる回折格子を二種類以上と、前記使用波長と異なる第二の使用波長用の回折格子を少なくとも一種類を同一の基板、または、同一の支持体上に構成し、光分岐素子としたことを特徴とするシアリング干渉計測装置を用いることにより、簡易な構成でEUV波長などに使用できるシアリング干渉計においても、チルト波面のチルト量計測を行うことが可能となる。

【0060】

特に、本発明の効果として、強調されるべきことが、既に、実施例1、2に共通に現れている。例えば、図8の強度変化のグラフにおいて、実際の測定では横軸の原点が必ずしも明確ではない、すなわち、回折格子の位置は通常1nmの高精度では管理されていない。このような場合に、単なる2波長の2種類の最大値位置だけを測定したのでは、強度変化が周期関数であることから、位置関係が不定になってしまう。しかしながら、本発明では、3つの強度変化の最大値を与える位置の差を測定する際に、そのうち波長が同じ2つの最大値位置は必ず重なるという特性を利用して、常に安定した基準を確保して測定を行うことが可能であり、これによって、高精度な測定を可能としている。

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図1】本発明の原理的構成を示す模式図。

【図2】従来のシアリング干渉測定装置の一例を示す模式図。

【図3】従来のシアリング干渉計による干渉縞画像の例。

【図4】シアリング干渉計の測定原理を示す模式図。

【図5】多層膜ミラーによる反射特性を示す模式図。

【図6】本発明の実施例の回折格子の構成を示す模式図。

【図7】本発明のシアリング干渉測定装置の全体構成を示す模式図。

【図8】実施例1の測定データを示す図。

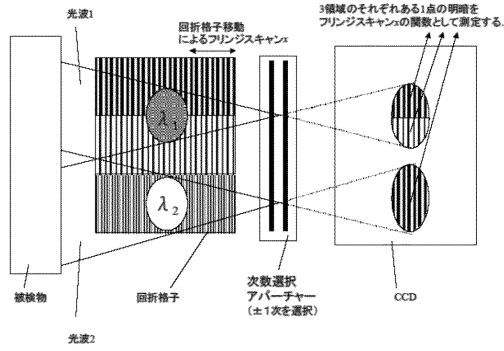
【図9】実施例2の測定データを示す図。

10

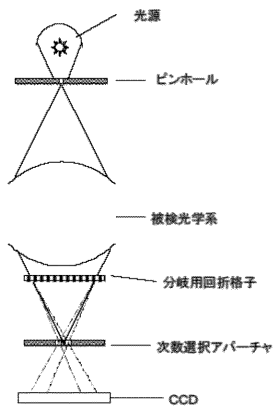
20

30

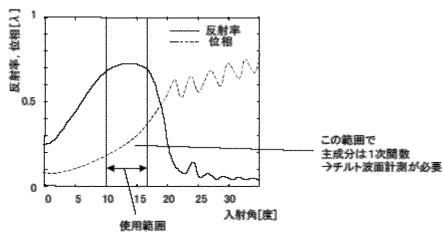
【 図 1 】



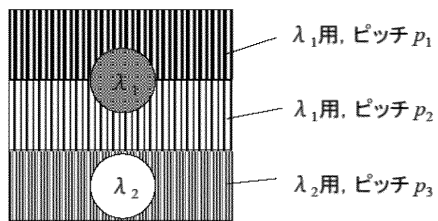
【 図 2 】



【 図 5 】

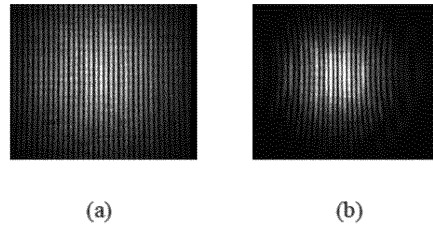


【 図 6 】

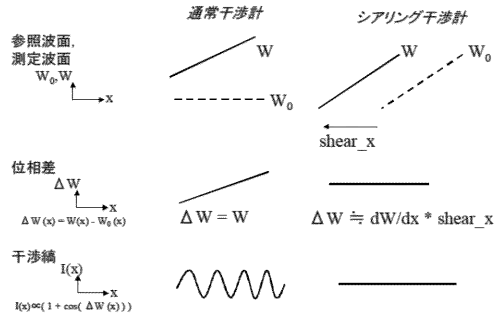


条件:
 A) $\lambda_3/p_3 \sim \lambda_1/p_1 (\sim \lambda_1/p_2) \rightarrow$ ほぼ同じ次数選択条件.
 B) $p_2 = p_1(1+\Delta) \rightarrow$ 原点検出のため、単純な整数倍を避ける.

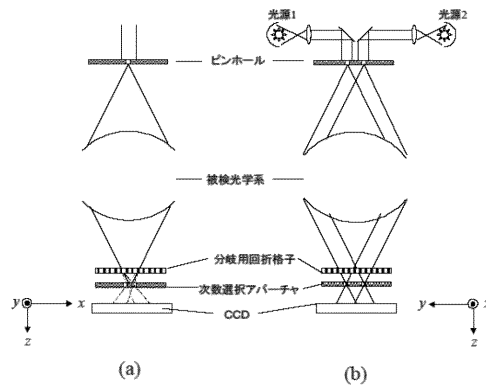
【 図 3 】



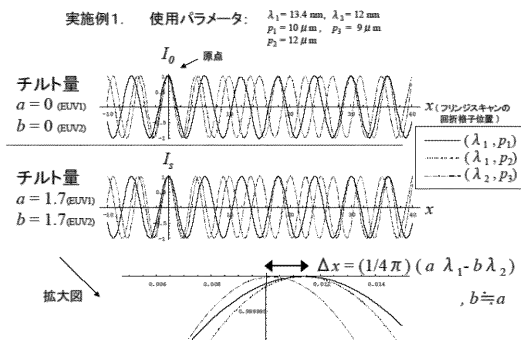
【 図 4 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

